

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
30. Mai 2002 (30.05.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/42724 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **G01F 23/296**

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP01/13114

(22) Internationales Anmeldedatum: 13. November 2001 (13.11.2001)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
100 57 974.4 22. November 2000 (22.11.2000) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **ENDRESS + HAUSER GMBH + CO. KG. [DE/DE]**; Hauptstrasse 1, 79689 Maulburg (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **LOPATIN, Sergej [RU/DE]**; Pestalozzistrasse 51, 79540 Lörrach (DE). **MÜLLER, Alexander [DE/DE]**; Am Weiheracker 18, 79585 Steinen (DE).

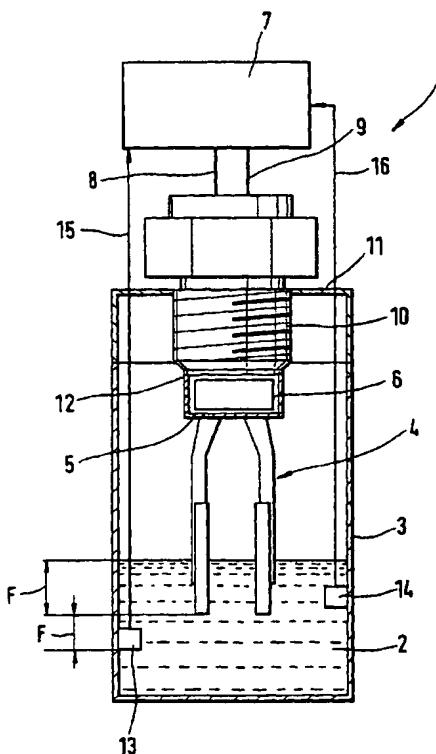
(74) Anwalt: **ANDRES, Angelika**; Endress + Hauser Deutschland Holding GmbH, PatServe, Colmarer Strasse 6, 79576 Weil am Rhein (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CR, CU,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR DETERMINING AND/OR MONITORING THE LEVEL OF A MEDIUM IN A CONTAINER, OR FOR DETERMINING THE DENSITY OF A MEDIUM IN A CONTAINER

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR FESTSTELLUNG UND/ODER ÜBERWACHUNG DES FÜLLSTANDES EINES MEDIUMS IN EINEM BEHÄLTER BZW. ZUR ERMITTlung DER DICHTE EINES MEDIUMS IN EINEM BEHÄLTER



(57) Abstract: The invention relates to a method and a device for determining and/or monitoring the level (F) of a medium (2) in a container (3), or to a method and a device for determining the density (ρ) of a medium (2) in said container (3). The aim of the invention is to disclose a method and a device, which permit an extremely precise determination or monitoring of the level (F) or the density of a medium (2) in a container (3). To achieve this, according to the method, the influence of at least one disturbance variable on the oscillating frequency of the oscillating unit (4) is determined and compensated accordingly, during the determination of the level (F) of the medium (2) in the container (3), or during the determination of the density (ρ) of the medium (2) in the container (3).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Feststellung und/oder Überwachung des Füllstandes (F) eines Mediums (2) in einem Behälter (3) bzw. Verfahren und eine Vorrichtung zur Ermittlung der Dichte (r) eines Mediums (2) in dem Behälter (3). Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung vorzuschlagen, die eine hochgenaue Bestimmung oder Überwachung des Füllstandes (f) oder der Dichte eines Mediums (2) in einem Behälter (3) erlauben. Bezuglich des Verfahrens wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß der Einfluß von zumindest einer Störgröße auf die Schwingfrequenz der schwingfähigen Einheit (4) bei der Bestimmung des Füllstandes (F) des Mediums (2) in dem Behälter (3) bzw. bei der Bestimmung der Dichte (r) des in dem Behälter (3) befindlichen Mediums (2) ermittelt und entsprechend kompensiert wird.

WO 02/42724 A1



CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

**Verfahren und Vorrichtung zur Feststellung und/oder Überwachung des
Füllstandes eines Mediums in einem Behälter bzw.
zur Ermittlung der Dichte eines Mediums in einem Behälter**

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Feststellung und/oder Überwachung des Füllstandes eines Mediums in einem Behälter bzw. zur Ermittlung der Dichte eines Mediums in einem Behälter gemäß dem Oberbegriff der Ansprüche 1 und 9.

Es sind bereits Vorrichtungen mit zumindest einem Schwingelement, sog. Vibrationsdetektoren, zur Detektion bzw. zur Überwachung des Füllstandes eines Mediums in einem Behälter bekannt geworden. Bei dem Schwing-element handelt es sich üblicherweise um zumindest einen Schwingstab, der an einer Membran befestigt ist. Die Membran wird über einen elektro-mechanischen Wandler, z. B. ein piezo-elektrisches Element, zu Schwingungen angeregt. Aufgrund der Schwingungen der Membran führt auch das an der Membran befestigte Schwingelement selbst Schwing-bewegungen aus.

Als Füllstandsmeßgeräte ausgebildete Vibrationsdetektoren nutzen den Effekt aus, daß die Schwingungsfrequenz und die Schwingungsamplitude abhängig sind von dem jeweiligen Bedeckungsgrad des Schwingelements: Während das Schwingelement in Luft frei und ungedämpft seine Schwingungen aus-führen kann, erfährt es eine Dämpfung und als Folge davon eine Frequenz- und Amplitudenänderung, sobald es teilweise oder vollständig in das Medium eintaucht. Anhand einer vorbestimmten Frequenzänderung läßt sich folglich ein eindeutiger Rückschluß auf den jeweiligen Füllstand in dem Behälter ziehen. Füllstandsmeßgeräte werden übrigens vornehmlich als Überfüll-sicherungen oder zum Zwecke des Pumpenleerlaufschutzes verwendet.

Darüber hinaus wird die Schwingfrequenz des Schwingelements auch von der jeweiligen Dichte des Mediums beeinflußt. Daher besteht bei konstantem Bedeckungsgrad eine funktionale Beziehung zur Dichte des Mediums, so daß Vibrationsdetektoren sowohl für die Füllstands- als auch für die Dichtebestimmung bestens geeignet sind. In der Praxis werden zwecks Überwachung und Erkennung des Füllstandes bzw. der Dichte des Mediums in

dem Behälter die Schwingungen der Membran aufgenommen und mittels zumindest eines Piezoelements in elektrische Empfangssignale umgewandelt.

Die elektrischen Empfangssignale werden anschließend von einer Auswerte-Elektronik ausgewertet. Im Falle der Füllstandsbestimmung überwacht die Auswerte-Elektronik die Schwingfrequenz und/oder die Schwingungs-amplitude des Schwingelements und signalisiert den Zustand 'Sensor bedeckt' bzw. 'Sensor unbedeckt', sobald die Meßwerte einen vorgegebenen Referenzwert unter- oder überschreiten. Eine entsprechende Meldung an das Bedienpersonal kann auf optischem und/oder auf akustischem Weg erfolgen. Alternativ oder zusätzlich wird ein Schaltvorgang ausgelöst; so wird etwa ein Zu- oder Ablaufventil an dem Behälter geöffnet oder geschlossen.

Die zuvorgenannten Geräte zum Messen des Füllstandes oder der Dichte werden in einer Vielzahl von Industriezweigen eingesetzt, beispielsweise in der Chemie, in der Lebensmittelindustrie oder bei der Wasseraufbereitung. Die Bandbreite der überwachten Füllgüter reicht von Wasser über Yoghurt, Farben und Lacke bis hin zu hochviskosen Füllgütern, wie Honig, oder bis hin zu stark schäumenden Füllgütern, wie z.B. Bier.

Vibrationsdetektoren sind allerdings nur in erster Näherung ausschließlich von den beiden zuvor genannten Größen 'Füllstand' und 'Dichte' abhängig. Darüber hinaus beeinflussen auch weitere physikalische Größen, etwa die Prozeßgrößen Druck und Temperatur oder die Viskosität des Mediums das Schwingverhalten des Schwingelements. Sobald daher die Anforderung gestellt wird, den Sensor für hochgenaue Messungen einzusetzen oder ihn als universell einsetzbare Meßvorrichtung im Hoch- und Tieftemperaturbereich bzw. im Hoch- und Tiefdruckbereich zu verwenden, muß der Einfluß dieser Größen auf das Schwingverhalten berücksichtigt werden. Prinzipiell gilt, daß der Einfluß von Temperatur und Druck auf die Meßergebnisse um so gravierender ist, je stärker beide Größen von den Normalbedingungen abweichen. Ähnliche Überlegungen gelten auch im Hinblick auf die Viskosität des Mediums: Eine Meßvorrichtung wird in Zukunft in der Lage sein müssen, in Verbindung mit Medien unterschiedlichster Viskosität verlässliche Meßergebnisse zu liefern.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung vorzuschlagen, die eine hochgenaue Bestimmung oder Überwachung des Füllstandes oder der Dichte eines Mediums erlauben.

Bezüglich des Verfahrens wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß der Einfluß von zumindest einer Störgröße auf die Schwingfrequenz der schwingfähigen Einheit bei der Bestimmung des Füllstandes des Mediums in dem Behälter bzw. bei der Bestimmung der Dichte des in dem Behälter befindlichen Mediums ermittelt und entsprechend kompensiert wird. Hierdurch wird sichergestellt, daß im Falle der Füllstandsmessung die Schaltpunkte der Meßvorrichtung, die die Zustände 'Sensor bedeckt' bzw. 'Sensor unbedeckt' signalisieren, genau definiert sind. Eine Fehlfunktion der Meßvorrichtung, die dadurch zustande kommt, daß Temperatur- und/oder Druckabweichungen das Erreichen der vorgegebenen Schaltpunkte lediglich vortäuschen, wird verlässlich ausgeschlossen. Im Falle der Dichtemessung wird durch die Kompensation des Einflusses der unterschiedlichen Störgrößen auf das Schwingverhalten des Schwingelements die Fehlertoleranz erheblich ver-ringert, so daß sich das erfindungsgemäße Verfahren und die entsprechende Vorrichtung für hochgenaue Dichtemessungen hervorragend eignen.

Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, daß eine Änderung der Schwingfrequenz der schwingfähigen Einheit, die durch eine Änderung der Viskosität des Mediums hervorgerufen wird, dadurch kompensiert wird, daß die Erregerfrequenz gegenüber der Schwingfrequenz der schwingfähigen Einheit eine Phasenverschiebung aufweist, die von 90° verschieden ist.

Insbesondere ist die Phasenverschiebung zwischen der Erregerfrequenz und der Schwingfrequenz der schwingfähigen Einheit so bemessen, daß eine auftretende Änderung im Schwingverhalten im wesentlichen unabhängig ist von der Viskosität des Mediums und somit im wesentlichen nur abhängig ist von der Eintauchtiefe der schwingfähigen Einheit in das Medium bzw. von der Dichte des Mediums. In der Praxis hat sich herausgestellt, daß eine Phasen-verschiebung von ca. 70° in flüssigen Medien bestens geeignet ist, den Einfluß der Viskosität auf die Meßergebnisse auszuschalten. Ist das Medium hingegen stark schäumend, so läßt sich mit Phasenverschiebung von ca. 120° zwischen Erreger- und Schwingfrequenz der Einfluß der Viskosität des Schaums hinreichend gut

kompensieren. Es ist selbstverständlich, daß die zur Kompensation des Einflusses der Viskosität erforderliche Phasenverschiebung auch entscheidend von der jeweiligen Ausgestaltung der schwingfähigen Einheit abhängt.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, daß zumindest eine Störgröße direkt gemessen oder indirekt ermittelt wird. Bevorzugt werden anhand empirisch ermittelter Daten Kennlinien erstellt und gespeichert, die die Frequenzänderung der schwingfähigen Einheit in Abhängigkeit von zumindest einer Störgröße wiedergeben. Selbstverständlich ist es auch möglich, die Kennlinien anhand eines mathematischen Modells zu berechnen und abzuspeichern, wobei das mathematische Modell eventuell wieder auf empirisch ermittelte Daten zurückzuführen ist.

Eine Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens schlägt vor, daß weitere Parameter bei der Auswahl der korrekten Kennlinien berücksichtigt werden. Insbesondere handelt es sich bei diesen Parametern um die Geometrie und/oder die Dimensionierung der schwingfähigen Einheit, das Material, aus dem die schwingfähige Einheit gefertigt ist und/oder im Falle der Füllstandsbestimmung die Einbauposition der schwingfähigen Einheit im Behälter. Die Kennlinien werden also auch sensorspezifisch und/oder systemspezifisch zur Verfügung gestellt.

Eine bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, daß die zumindest eine Störgröße gemessen oder ermittelt wird und daß die entsprechende Frequenzänderung im Falle der Füllstandsmessung bei der Festlegung des Schaltpunktes bzw. im Falle der Dichtemessung bei der Bestimmung der Dichte des Mediums berücksichtigt wird. Durch diese Ausgestaltung ist es möglich, unverzüglich auf Schwankungen in der Störgröße zu reagieren und die Meßvorrichtung somit universell - also unabhängig von den am Meßort herrschenden Bedingungen – einzusetzen.

Bezüglich der Vorrichtung wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß die Regel-/Auswerteeinheit den Einfluß zumindest einer Störgröße auf die Schwingfrequenz der schwingfähigen Einheit ermittelt und daß die Regel-/Auswerteeinheit die Frequenzänderung, bei der das Erreichen des vorbestimmten Füllstandes angezeigt wird, derart korrigiert, daß der Einfluß der Störgröße eliminiert wird, bzw. daß die Regel-/Auswerteeinheit den durch die Störgröße auftretenden Meßfehler bei der Dichtebestimmung berücksichtigt.

Wie bereits an vorhergehender Stelle angedeutet, handelt es sich bei der zumindest einen Störgröße um die Temperatur oder den Druck, oder es handelt sich um die Viskosität des Mediums. Selbstverständlich läßt sich jede andere, empirisch greifbare Störgröße, die Einfluß auf das Schwingverhalten des Schwingelements nimmt, mittels der Erfindung kompensieren.

Um stets die aktuellen Werte der Temperatur und/oder des Druckes zur Verfügung zu haben, sind/ist ein Temperatursensor und/oder ein Drucksensor vorgesehen, die/der die Temperatur bzw. den Druck in der Umgebung der schwingfähigen Einheit bestimmen/bestimmt. Gemäß einer Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung sind/ist der Temperatursensor, z. B. ein PT 100, und/oder der Drucksensor in die Vorrichtung zur Bestimmung des Füllstandes bzw. der Dichte integriert sind. Selbstverständlich ist es auch möglich, den Temperatur- und/oder Drucksensor als separate Einheiten vorzusehen und im Behälter zu positionieren. Weiterhin ist es möglich, beispielsweise den Druck oder die Temperatur über die schwingfähige Einheit selbst zu ermitteln. Insbesondere wird hier die Steifigkeit zwischen der Antriebs-/Empfangseinheit und der Membran gemessen, an der z. B. Schwingstäbe in Form einer Stimmgabel befestigt sind. Zwecks Messung der Steifigkeit wird die schwingfähige Einheit mit einem hochfrequenten Schwingungsmodus beaufschlagt. Anschließend wird die Reaktion der schwingfähigen Einheit auf die Erregerfrequenz zwecks Bestimmung der Temperatur oder des Druckes ausgewertet.

Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung wird vorgeschlagen, daß eine Datenübertragungsstrecke bzw. ein Datenbus, vorgesehen ist. Über diese Verbindungen leiten die Sensoren und die einzelnen Einheiten der erfindungsgemäßen Vorrichtung ihre Daten an die Regel-/Auswerteeinheit weiter, bzw. über die Verbindungen kommunizieren die Sensoren und/oder die einzelnen Einheiten der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit der Regel-/Auswerteeinheit. Bei der Kommunikation wird bevorzugt auf die gängigen Industriestandards zurückgegriffen. Als Beispiele sind hier PROFIBUS PA, FIELDBUS FOUNDATION oder HART zu nennen.

Die Erfindung wird anhand der nachfolgenden Zeichnungen näher erläutert. Es zeigt:

Fig. 1: eine schematische Darstellung einer bevorzugten Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung,

Fig. 2: ein Flußdiagramm zur Ansteuerung der Regel-/Auswerteeinheit im Falle der Füllstandsbestimmung,

Fig. 3: ein Flußdiagramm zur Ansteuerung der Regel-/Auswerteeinheit im Falle der Dichtebestimmung,

Fig. 4: eine graphische Darstellung der Kennlinien $E(\Delta f)$ bei unterschiedlichen Viskositäten und

Fig. 5: eine schematische Darstellung einer Schaltung zur Kompensation von Frequenzänderungen, die infolge der Viskosität des Mediums auftreten.

Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Feststellung und/oder Überwachung des Füllstandes F des Mediums 2 in dem Behälter 3. Kurz gesprochen, handelt es sich um einen Grenzwertdetektor. Die in der Fig. 1 gezeigte Vorrichtung 1 ist selbst-verständlich auch – wie bereits an vorhergehender Stelle erläutert - zur Bestimmung der Dichte des in dem Behälter 3 befindlichen Mediums 2 geeignet. Während im Fall der Füllstandsbestimmung die schwingfähige Einheit nur bei Erreichen des detektierten Grenzfüllstandes in das Medium bzw. nicht in das Medium eintaucht, muß sie zwecks Überwachung bzw. Bestimmung der Dichte ρ kontinuierlich bis zu einer vorbestimmten Eintauchtiefe E mit dem Medium 2 in Kontakt sein. Bei dem Behälter 3 kann es sich natürlich auch um ein Rohr handeln, das von dem Medium 2 durchflossen wird.

Die Vorrichtung 1 weist ein im wesentlichen zylindrisches Gehäuse 12 auf. An der Mantelfläche des Gehäuses 12 ist ein Gewinde 10 vorgesehen. Das Gewinde 10 dient zur Befestigung der Vorrichtung 1 auf der Höhe des vorbestimmten Füllstandes F in dem Behälter 3 und ist im gezeigten Fall in einer entsprechenden Öffnung im Deckel 11 des Behälters 3 angeordnet. Andere Arten der Befestigung, z.B. mittels eines Flansches, können die in Fig. 1 dargestellte Anbringung der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 an dem Behälter 3 ohne weiteres ersetzen.

Das Gehäuse 12 ist an seinem in den Behälter 3 hineinragenden Endbereich von der Membran 5 abgeschlossen, wobei die Membran 5 in ihrem Randbereich in das Gehäuse 12 eingespannt ist. An der Membran 5 ist die in den Behälter 3 ragende schwingungsfähige Einheit 4 befestigt. Im dargestellten Fall hat die schwingfähige Einheit 4 die Ausgestaltung einer Stimmgabel, umfaßt also zwei voneinander beabstandete, auf der Membran 5 befestigte und in den Behälter 3 hineinragende ragende Schwingstäbe.

Die Membran 5 wird von einem Antriebs-/Empfangselement 6 in Schwingungen versetzt, wobei das Antriebselement 6a die Membran 5 mit einer vorgegebenen Erregerfrequenz zu Schwingungen anregt. Bei dem Antriebselement 6a handelt es sich z. B. um einen Stapelantrieb oder um einen Bimorphantrieb. Beide Arten von piezo-elektrischen Antrieben sind aus dem Stand der Technik hinreichend bekannt, so daß an dieser Stelle auf ihre Beschreibung verzichtet werden kann. Aufgrund der Schwingungen der Membran 5 führt auch die schwingfähige Einheit 4 Schwingungen aus, wobei die Schwingfrequenz unterschiedlich ist, wenn die schwingfähige Einheit 4 mit dem Medium 2 in Kontakt ist und so beim Schwingen die Masse des Mediums 2 mitbewegen muß oder wenn die schwingfähige Einheit 4 frei und ohne Kontakt mit dem Medium 2 schwingen kann.

Bei der Empfangseinheit 6b kann es sich beispielsweise ebenso wie bei der Antriebseinheit 6a um ein einziges piezo-elektrisches Element handeln. Die Antriebs-/Empfangseinheit 6 regt die Membran 5 zu Schwingungen in Abhängigkeit von einem an dem piezo-elektrischen Element anliegenden Sendesignal an, und sie dient zum Empfangen und Umwandeln der Schwingungen der Membran 5 in ein elektrisches Empfangssignal.

Piezo-elektrischen Elemente ändern ihre Größen (Dicke, Durchmesser ...) in Abhängigkeit von einer in Polarisationsrichtung anliegenden Spannungsdifferenz. Liegt eine Wechselspannung an, so oszilliert die Dicke: Nimmt die Dicke zu, so nimmt der Durchmesser des piezo-elektrischen Elementes ab; nimmt andererseits die Dicke ab, so vergrößert sich der Durchmesser des piezo-elektrischen Elements entsprechend.

Aufgrund dieses Schwingungsverhaltens des piezo-elektrischen Elements bewirkt die Spannungsdifferenz ein Durchbiegen der in das Gehäuse 12 eingespannten

Membran 5. Die auf der Membran 5 angeordneten Schwing-stäbe des schwingfähigen Einheit 4 führen aufgrund der Schwingungen der Membran 5 gegensinnige Schwingungen um ihre Längsachse aus. Die gegensinnigen Schwingungen haben den Vorteil, daß sich die von jedem Schwingstab auf die Membran 5 ausgeübten Wechselkräfte gegenseitig aufheben. Hierdurch wird die mechanische Beanspruchung der Einspannung minimiert, so daß näherungsweise keine Schwingungsenergie auf das Gehäuse 12 übertragen wird.

In dem Behälter ist desweiteren ein Temperatursensor 13 und ein Druck-sensor 14 vorgesehen. Beide Sensoren 13, 14 und der Vibrationssensor liefern ihre Meßwerte zwecks Auswertung an die Regel-/Auswerteeinheit 7.

In Fig. 2 ist ein Flußdiagramm zur Ansteuerung der Regel-/Auswerteeinheit 7 für den Fall der Füllstandsbestimmung dargestellt. Als Sollwert zur Charakterisierung des Schaltpunktes wird die zugehörige unter Standard-bedingungen ermittelte Frequenzänderung vorgegeben. Nach dem Programmstart bei Punkt 20 werden bei den Programmpunkten 21, 22 der aktuelle Temperaturwert T und der aktuelle Druckwert p bereitgestellt. Anhand der gemessenen Werte T , p wird unter Programmpunkt 23 die entsprechende Frequenzänderung $\Delta f(p, T)$ berechnet. Die Berechnung kann beispielsweise unter Verwendung einer empirisch ermittelten Kennlinie erfolgen. Diese Kennlinie kann durch folgende Formel beschrieben werden:

$$\Delta f(p, T) = p \cdot (a \cdot T + b \cdot T^2 + c) + d \cdot T + e.$$

Hierbei sind a , b , c , d , e reelle Zahlen, in denen sich sensor- und system-abhängige Größen widerspiegeln. Die Ermittlung dieser Größen erfolgt beispielsweise unter Verwendung empirisch ermittelter Kennlinien. Für unterschiedliche Sensoren oder Einbauarten eines Füllstands- oder Dichte-Meßgerätes in den Behälter sind gemäß einer bevorzugten Variante der erfindungsgemäßen Vorrichtung unterschiedliche Sätze von Kennlinien vorgesehen. Im einfachsten Fall werden diese Kennliniensätze von dem Bedienpersonal über Knopfdruck für die korrekte Ermittlung des Schalt-punktes oder der Dichte aufgerufen, so daß sie nachfolgend der Regel-/ Auswerteeinheit zur Verfügung gestellt werden.

Es versteht sich von selbst, daß ein interessanter Aspekt der Erfindung auch derjenige ist, daß diese unterschiedlichen Kennliniensätze, die empirisch ermittelt oder nach einem mathematischen Modell berechnet wurden und die sensor- und/oder systemspezifisch sind, auch völlig unabhängig von der zuvor beschriebenen Temperatur-, Druck- und/oder Viskositätskompensation angewendet werden können.

Die unter dem Einfluß der Störgrößen (Druck p , Temperatur T) auftretende Frequenzänderung Δf (p, T) wird nachfolgend unter Programm Punkt 25 bei der den Füllstand F bzw. die Dichte ρ widerspiegelnden Frequenzänderung Δf (IST) berücksichtigt. Erst wenn der korrigierte Istwert Δf (IST)Korr mit dem vorgegebenen Sollwert Δf (SOLL) der Frequenzänderung übereinstimmt, wird bei Punkt 26 eine Meldung 'Sensor bedeckt' ausgegeben. Solange die zuvor genannte Bedingung nicht erfüllt ist, werden die Programm-Punkte 21 bis 25 in einer Schleife durchlaufen. Ist die unter 26 vorgesehene Meldung erfolgt, wird das Programm bei 27 beendet.

In Fig. 3 ist ein Flußdiagramm zur Ansteuerung der Regel-/Auswerteeinheit 7 für den Fall der Dichtebestimmung dargestellt. Als Sollwerte für die Dichte $\rho(\Delta f)$ wird die unter entsprechenden Standardbedingungen ermittelte Kennlinie vorgegeben, die die Dichte ρ in Abhängigkeit von der Frequenzänderung Δf wiedergibt. In Kenntnis der Werte von Temperatur T und Druck p , die unter den Programm-Punkten 29, 30 gemessen werden, wird bei 31 die zugehörige Frequenzänderung $\Delta f(p, T)$ berechnet oder in sonstiger Weise ermittelt. Diese Frequenzänderung $\Delta f(p, T)$ wird bei der Bestimmung der tatsächlichen, von diesen Störgrößen p, T unbeeinflußten Frequenzänderung $\Delta f'$ berücksichtigt (Punkt 32), so daß die korrigierte Frequenzänderung $\Delta f'$ verlässlich die tatsächliche Dichte $\rho(\Delta f')$ des Mediums 2 widerspiegelt (Programmpunkt 33).

Fig. 4 zeigt in einer graphischen Darstellung die Eintauchtiefe E in Abhängigkeit von der Frequenzänderung Δf bei unterschiedlichen Viskositäten V . Die beiden Extremfälle einer Viskosität von 1 mPasec und 60.000 mPasec sind in Fig. 4 entsprechend markiert. Wie deutlich zu sehen ist, ist die Frequenzänderung Δf nicht nur von der Eintauchtiefe E der schwingfähigen Einheit 4 in das Medium 2 abhängig, sondern sie wird auch gravierend von der Viskosität V des Meßmediums 2 beeinflußt. Erinnert sei an dieser Stelle daran, daß sich die Erfindung auf eine universell für die Füllstands- oder Dichtemessung bei

unterschiedlichsten Medien 2 verwendbaren Vorrichtung beziehen soll. Würde die unterschiedliche Viskositäten V der Medien 2 nicht erfindungsgemäß berücksichtigt, würde z. B. ein Schaltvorgang ausgelöst, obwohl der vorgegebene Füllstand noch überhaupt nicht erreicht worden ist. Ebenso wären die Meßfehler, was die Dichtemessung betrifft, inakzeptabel groß.

Fig. 5 zeigt eine schematische Darstellung einer Schaltung zur Kompensation einer Frequenzänderung Δf , die – wie in Fig. 4 klar zu sehen ist – infolge des Einflusses der Viskosität V des zu messenden oder überwachenden Mediums 2 auftritt. Kurz gesagt, wird durch die gezeigte Schaltung die Störgröße 'Viskosität V ' automatisch kompensiert. Wie bereits an vorhergehender Stelle beschrieben, wird hierzu die Phasenverschiebung $\Delta\phi$ zwischen der Erregerfrequenz f_E und der Schwingfrequenz f_s der schwingfähigen Einheit 4 so bemessen, daß eine auftretende Frequenzänderung Δf im wesentlichen unabhängig ist von der Viskosität V des Mediums 2 und somit im wesentlichen nur abhängig ist von der Eintauchtiefe E der schwingfähigen Einheit 4 in das Medium 2 bzw. von der Dichte ρ des Mediums 2.

Insbesondere wird das die Schwingung der schwingfähigen Einheit wider-spiegelnde Empfangssignal der Empfangseinheit über das Filter 17 gefiltert; anschließend wird das gefilterte Signal einer Phasenverschiebung $\Delta\phi$ unterzogen, die derart bemessen ist, daß die durch die Viskosität V verursachte Frequenzänderung $\Delta f (V)$ keinen Einfluß mehr auf die Frequenzänderung Δf der Schwingfrequenz der schwingfähigen Einheit 4 hat. Liegen die Temperatur- und/oder Druckwerte innerhalb eines Bereichs, in dem sie keine meßbaren Auswirkungen auf die Frequenzänderung Δf der schwingfähigen Einheit 4 haben, so läßt sich der Einfluß der Viskosität V problemlos kompensieren. Liegen die Temperatur- und/oder Druckwerte hingegen in einem Bereich, in dem sie die Frequenzänderung Δf so stark beeinflussen, daß Meßfehler und Fehlfunktionen des Sensors auftreten, so wird zusätzlich die zuvor beschriebenen Kompensation des Temperatur- und/oder Druckeinflusses erforderlich sein.

Es hat sich gezeigt, daß bei einer großen Zahl von Flüssigkeiten unterschiedlicher Viskosität V mit einer Phasenverschiebung von 70° der Einfluß der Viskosität hinreichend gut kompensiert werden kann. Bei dichten Schäumen (Dichte $> 0,6$ g/cm³) ist eine Phasenverschiebung von 120° - 140° bestens zur Kompensation geeignet.

11

Hat man alle durch Temperatur T , Druck p und/oder Dichte ρ bedingte Frequenzänderungen $\Delta f (p, T, \rho)$ im Griff, so ist umgekehrt mittels der Erfindung eine Bestimmung der Viskosität V möglich.

Bezugszeichenliste

- 1 erfindungsgemäße Vorrichtung
- 2 Medium
- 3 Behälter
- 4 Schwingfähige Einheit, insbesondere Stimmgabel
- 5 Membran
- 6 Antriebs-/Empfangseinheit
- 7 Regel-/Auswerteeinheit
- 8 Datenleitung
- 9 Datenleitung
- 10 Gewinde
- 11 Deckel
- 12 Gehäuse
- 13 Temperatursensor
- 14 Drucksensor
- 15 Datenleitung
- 16 Datenleitung
- 17 Filter
- 18 Phasenschieber
- 19 Verstärker

Patentansprüche

1. Verfahren zur Feststellung und/oder Überwachung des Füllstandes eines Mediums in einem Behälter bzw. Verfahren zur Ermittlung der Dichte eines Mediums in dem Behälter,
wobei eine schwingfähige Einheit auf der Höhe des vorbestimmten Füllstandes angebracht wird bzw. wobei eine schwingfähige Einheit so angebracht wird, daß sie bis zu einer definierten Eintauchtiefe in das Medium eintaucht,
wobei die schwingfähige Einheit mittels einer Erregerschwingung zu Schwingungen angeregt wird und
wobei das Erreichen des vorbestimmten Füllstandes erkannt wird, sobald die schwingfähige Einheit mit einer Schwingfrequenz schwingt, die eine vorbestimmte Frequenzänderung gegenüber der Erregerfrequenz aufweist, bzw. wobei die Dichte des Mediums anhand der Schwingfrequenz der schwingfähigen Einheit ermittelt wird,
dadurch gekennzeichnet,
daß der Einfluß von zumindest einer Störgröße auf die Schwingfrequenz (f_s) der schwingfähigen Einheit (4) bei der Bestimmung des Füllstandes (F) des Mediums (2) in dem Behälter (3) bzw. bei der Bestimmung der Dichte (ρ) des in dem Behälter (3) befindlichen Mediums (2) ermittelt und entsprechend kompensiert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
daß eine Frequenzänderung (Δf) der schwingfähigen Einheit (4), die durch eine Änderung der Viskosität (ΔV) des Mediums (2) hervorgerufen wird, dadurch kompensiert wird, daß die Erregerfrequenz (f_e) gegenüber der Schwingfrequenz (f_s) der schwingfähigen Einheit (4) eine Phasen-verschiebung ($\Delta\phi$) aufweist, die von 90° verschieden ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Phasenverschiebung ($\Delta\phi$) zwischen der Erregerfrequenz (f_e) und der Schwingfrequenz (f_s) der schwingfähigen Einheit (4) so bemessen ist, daß eine auftretende Frequenzänderung (Δf) im wesentlichen unabhängig ist von der Viskosität (V) des Mediums (2) und somit im wesentlichen nur abhängig ist von

der Eintauchtiefe (E) der schwingfähigen Einheit (4) in das Medium (2) bzw. von der Dichte (ρ) des Mediums (2).

4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3,
dadurch gekennzeichnet,
daß die zumindest eine Störgröße direkt gemessen oder indirekt ermittelt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1 oder 4,
dadurch gekennzeichnet,
daß Kennlinien ($\Delta f(p, T)$, ($\Delta f(V)$) erstellt und gespeichert werden, die die Frequenzänderung (Δf) des schwingungsfähigen Gebildes (4) in Abhängigkeit von zumindest einer Störgröße wiedergeben.
6. Verfahren nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Kennlinien ($\Delta f(p, T)$, ($\Delta f(V)$) anhand eines mathematischen Modells oder anhand empirisch ermittelter Daten erstellt werden.
7. Verfahren nach Anspruch 1, 5 oder 6,
dadurch gekennzeichnet,
daß weitere Parameter bei der Auswahl der Kennlinien berücksichtigt werden, insbesondere die Geometrie und/oder die Dimensionierung der schwing-fähigen Einheit (4), das Material, aus dem die schwingfähige Einheit (4) gefertigt ist und/oder im Falle der Füllstandsbestimmung die Einbauposition der schwingfähigen Einheit (4) im Behälter (3).
8. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß die zumindest eine Störgröße gemessen oder ermittelt wird und
daß die entsprechende Frequenzänderung (Δf) im Falle der Füllstandsmessung bei der Festlegung des Schaltpunktes bzw. im Falle der Dichtemessung bei der Bestimmung der Dichte (ρ) des Mediums (2) berücksichtigt wird.

9. Vorrichtung zur Feststellung und/oder Überwachung des Füllstandes eines Mediums in einem Behälter bzw. Vorrichtung zur Ermittlung der Dichte eines Mediums in dem Behälter,
wobei eine schwingfähige Einheit vorgesehen ist, die auf der Höhe des vorbestimmten Füllstandes angebracht ist bzw. wobei eine schwingfähige Einheit so angebracht ist, daß es bis zu einer definierten Eintauchtiefe in das Medium eintaucht,
wobei eine Antriebs-/Empfangseinheit vorgesehen ist, die die schwingfähige Einheit mit einer vorgegebenen Erregerfrequenz zu Schwingungen anregt und die die Schwingungen der schwingfähigen Einheit empfängt, und wobei eine Regel-/Auswerteeinheit vorgesehen ist, die das Erreichen des vorbestimmten Füllstandes erkennt, sobald eine vorgegebene Frequenzänderung auftritt bzw. die anhand der Schwingfrequenz der schwingfähigen Einheit die Dichte des Mediums ermittelt,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Regel-/Auswerteeinheit (7) den Einfluß zumindest einer Störgröße auf die Schwingfrequenz (f_s) der schwingfähigen Einheit (4) ermittelt und
daß die Regel-/Auswerteeinheit (7) die Frequenzänderung, bei der das Erreichen des vorbestimmten Füllstandes (F) angezeigt wird, derart korrigiert, daß der Einfluß der Störgröße eliminiert wird, bzw.
daß die Regel-/Auswerteeinheit (7) den durch die Störgröße auftretenden Meßfehler bei der Bestimmung der Dichte (ρ) berücksichtigt.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9,
dadurch gekennzeichnet,
daß es sich bei der zumindest einen Störgröße um die Temperatur (T), den Druck (p) oder um die Viskosität (V) des Mediums (2) handelt.

11. Vorrichtung nach Anspruch 9 oder 10,
dadurch gekennzeichnet,
daß ein Temperatursensor (12) und/oder ein Drucksensor (13) vorgesehen sind/ist, die/der die Temperatur (T) bzw. den Druck (p) in der Umgebung der schwingfähigen Einheit (4) bestimmen/bestimmt.

12. Vorrichtung nach Anspruch 9 oder 10,
dadurch gekennzeichnet,

16

daß der Temperatursensor (12) und/oder der Drucksensor (13) in die Vorrichtung (1) zur Bestimmung des Füllstandes (F) bzw. der Dichte (ρ) integriert sind.

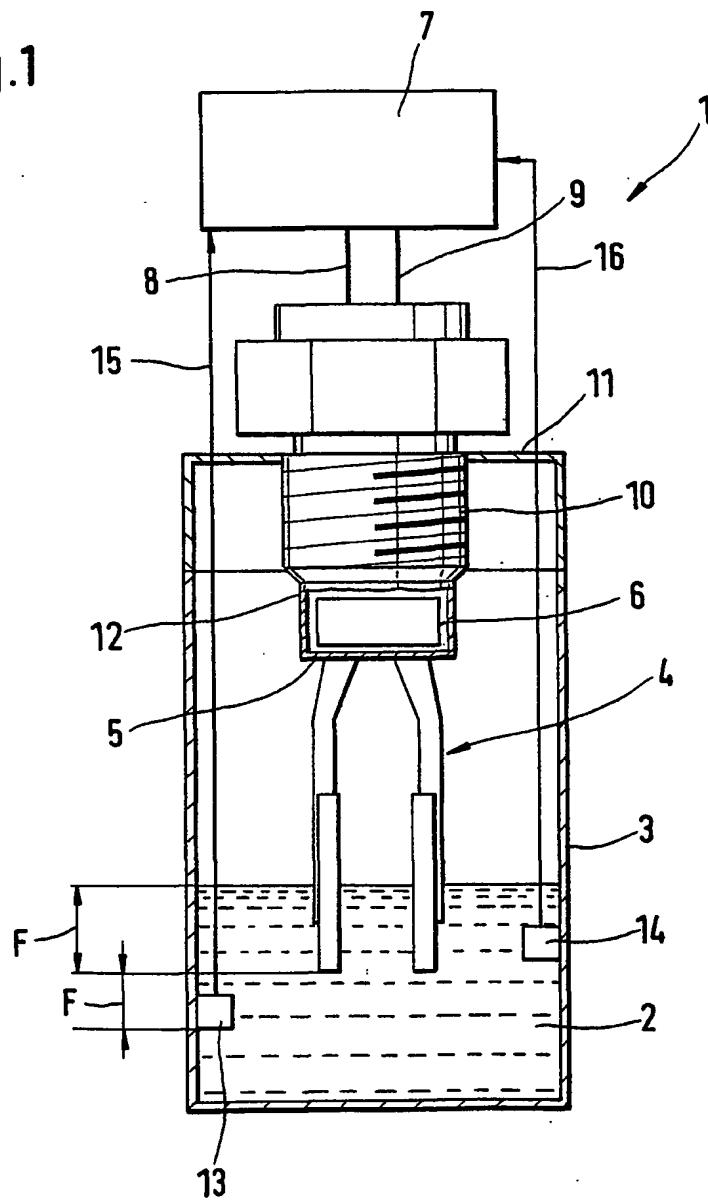
13. Vorrichtung nach Anspruch 11 oder 12,

dadurch gekennzeichnet,

daß die eine Datenübertragungsstrecke bzw. ein Datenbus ((, 9), vorgesehen ist, über die der Sensor und/oder die einzelnen Einheiten (12, 13) der erfindungsgemäß Vorrichtung (1) ihre Daten an die Regel-/Auswerteeinheit (7) weiterleiten bzw. über den der Sensor und/oder die einzelnen Einheiten (12, 13) der erfindungsgemäß Vorrichtung (1) mit der Regel-/Auswerte-einheit kommunizieren.

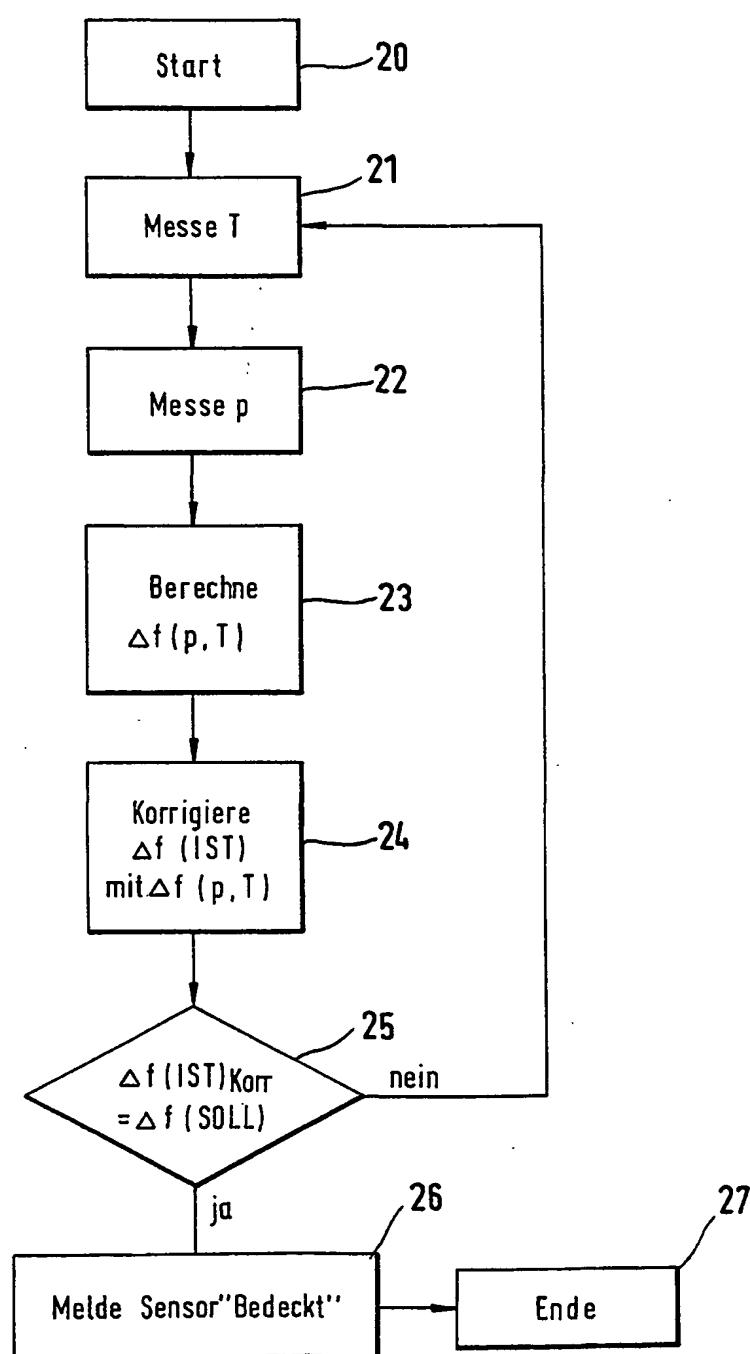
1/4

Fig.1

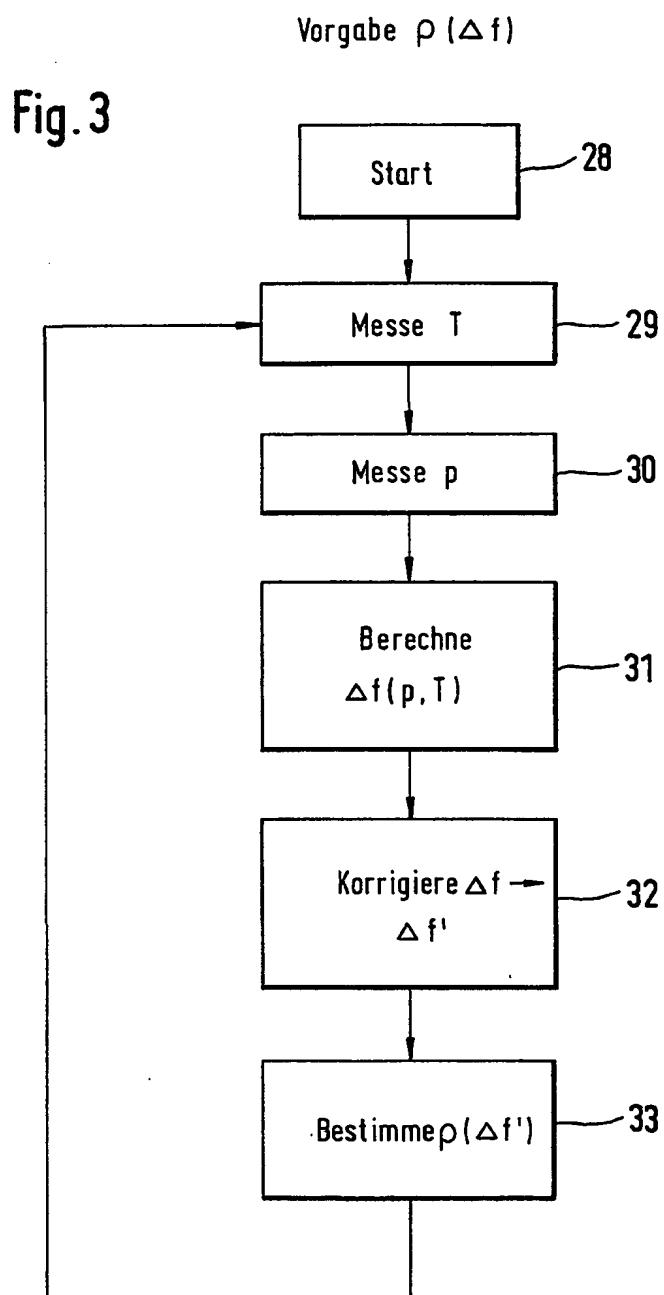


2 / 4

Fig.2

Vorgabe Δf (Soll)

3 / 4



4/4

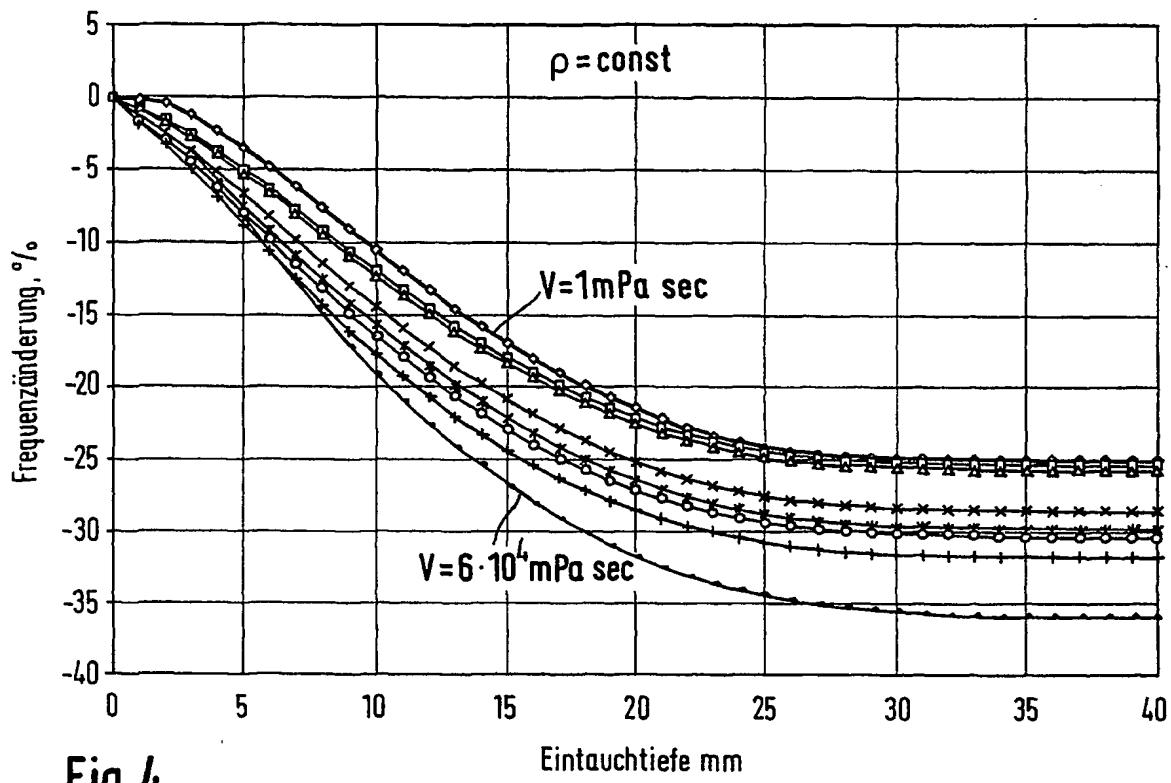
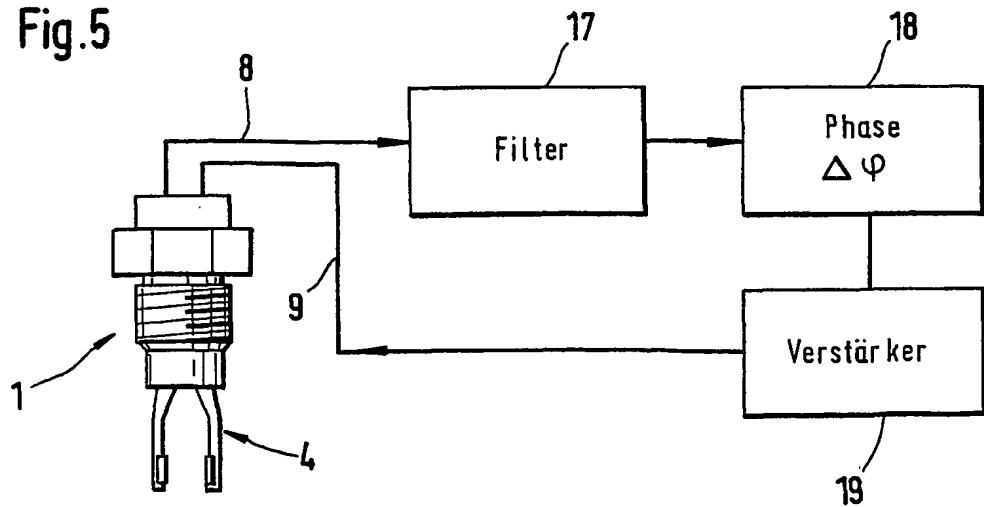


Fig.4

Fig.5



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 01/13114

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 G01F23/296

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 G01F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category ^a	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 6 044 694 A (ANDERSON PHILIP D ET AL) 4 April 2000 (2000-04-04) column 3, line 1 -column 7, line 26; figures 1-5 ---	1-6,9,10
X	EP 0 355 038 A (ENRAF NONIUS DELFT) 21 February 1990 (1990-02-21)	1,4-6,9, 11
Y	column 3, line 34 -column 6, line 19; figures 1-7 ---	10
Y	US 3 170 094 A (WILFRED ROTH) 16 February 1965 (1965-02-16) column 1, line 50 - line 54 -----	10

 Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

- °A° document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- °E° earlier document but published on or after the International filing date
- °L° document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- °O° document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- °P° document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- °T° later document published after the International filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- °X° document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- °Y° document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- °&° document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 15 April 2002	Date of mailing of the international search report 06/05/2002
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Heinsius, R

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 01/13114

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)			Publication date
US 6044694	A 04-04-2000	AU	738267 B2		13-09-2001
		AU	3950897 A		19-03-1998
		EP	1007914 A1		14-06-2000
		WO	9809139 A1		05-03-1998
		JP	2001500965 T		23-01-2001
EP 0355038	A 21-02-1990	NL	8801836 A		16-02-1990
		DE	68901828 D1		23-07-1992
		DE	68901828 T2		17-12-1992
		EP	0355038 A1		21-02-1990
		US	5043912 A		27-08-1991
US 3170094	A 16-02-1965	CH	395568 A		15-07-1965
		GB	998099 A		14-07-1965

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 01/13114

A. KLASSEFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 G01F23/296

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 G01F

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Beitr. Anspruch Nr.
X	US 6 044 694 A (ANDERSON PHILIP D ET AL) 4. April 2000 (2000-04-04) Spalte 3, Zeile 1 - Spalte 7, Zeile 26; Abbildungen 1-5 ---	1-6, 9, 10
X	EP 0 355 038 A (ENRAF NONIUS DELFT) 21. Februar 1990 (1990-02-21) Spalte 3, Zeile 34 - Spalte 6, Zeile 19; Abbildungen 1-7 ---	1, 4-6, 9, 11
Y	US 3 170 094 A (WILFRED ROTH) 16. Februar 1965 (1965-02-16) Spalte 1, Zeile 50 - Zeile 54 -----	10
Y		10

 Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem Internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem Internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

& Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der Internationalen Recherche

Absendedatum des Internationalen Recherchenberichts

15. April 2002

06/05/2002

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Heinsius, R

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 01/13114

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 6044694	A 04-04-2000	AU	738267 B2	13-09-2001
		AU	3950897 A	19-03-1998
		EP	1007914 A1	14-06-2000
		WO	9809139 A1	05-03-1998
		JP	2001500965 T	23-01-2001
EP 0355038	A 21-02-1990	NL	8801836 A	16-02-1990
		DE	68901828 D1	23-07-1992
		DE	68901828 T2	17-12-1992
		EP	0355038 A1	21-02-1990
		US	5043912 A	27-08-1991
US 3170094	A 16-02-1965	CH	395568 A	15-07-1965
		GB	998099 A	14-07-1965